



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

**ZAMĚŘENÍ KOSTELA SV. JANA NEPOMUCKÉHO VE
STARÉM LÍSKOVCI S VYUŽITÍM TOPOLOGICKÉHO
KÓDOVÁNÍ**

SURVEYING OF THE CHURCH OF ST. JOHN OF NEPOMUK IN STARÝ LÍSKOVEC WITH THE
USAGE OF TOPOLOGICAL CODING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matúš Hladký

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. DALIBOR BARTONĚK, CSc.

BRNO 2021



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646R003 Geodézie, kartografie a geoinformatika
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Matúš Hladký
Název	Zaměření kostela sv. Jana Nepomuckého ve Starém Lískovci s využitím topologického kódování
Vedoucí práce	doc. Ing. Dalibor Bartoněk, CSc.
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1. Fišer, Z., Vondrák, J. a kol. Mapování. 2. vydání Brno, CERM s. r. o. 2006, ISBN 80-7204-472-9.
2. Tuan, A. N. G., Phuoc, T. V., K., D. H. Overview of Three-Dimensional GIS Data Models. International Journal of Future Computer and Communication. 2013, 3, s. 1013–1020.
3. Lattuada, R. Three-Dimensional Representations and Data Structures in GIS and AEC. In Large-scale 3D Data Integration. Boca Raton, United States: CRC Press, 2005. s. 57–86.
4. Firemní literatura k vhodnému software: ARC/INFO, Geomedia Intergraph, MicroStation, AutoCAD.
5. Další zdroje podle potřeby.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

1. Zaměřte geodeticky vybraný objekt - kostel sv. Jana Nepomuckého ve Starém Lískovci.
2. Při zaměření využijte topologické kódování v seznamu souřadnic.
3. Navrhněte vhodnou formu prezentace výsledků ve zvoleném CAD/GIS systému (např. MicroStation, AutoCAD, ArcGIS nebo Geomedia apod.).
4. Student odevzdá přílohy, podle nichž bude možné posoudit kvalitu a přesnost zpracování úkolu.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

ABSTRAKT

Cieľom bakalárskej práce je zamerať tachymetrickou metódou kostol sv. Jana Nepomuckého v Starém Lískovci a s pomocou topologického kódovania vyhotoviť jeho drátový model. Úvodná časť obsahuje stručný opis objektu, jeho lokalizáciu a históriu. V ďalšej časti sú popísané kroky spojené s meračskými prácami, rekognoskácia, tvorba meračskej siete a samotné podrobné meranie. Nasleduje výpočtová časť a tvorba samotného modelu s využitím softwaru QGIS a Microstation.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

drátový model, topologické kódovanie, tachymetrická metóda, QGIS, Microstation

ABSTRACT

The objective of the thesis is surveying of the church of St. John of Nepomuk in Starý Lískovec by tachymetric method and creating of the wire-frame model with usage of topological coding. The introduction part contains brief description, localization, and history of the object. In next part are described steps of measuring, i.e., reconnaissance, creating of measuring net and surveying of the object. After that follows computations of measured data and generation of the model by QGIS and Microstation softwares.

KEYWORDS

wire-frame model, topological coding, tachymetric method, QGIS, Microstation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Matúš Hladký *Zaměření kostela sv. Jana Nepomuckého ve Starém Lískovci s využitím topologického kódování*. Brno, 2021. 48 s. a příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Dalibor Bartoněk, CSc

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Zaměření kostela sv. Jana Nepomuckého ve Starém Lískovci s využitím topologického kódování* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 27. 5. 2021

Matúš Hladký
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Zaměření kostela sv. Jana Nepomuckého ve Starém Lískovci s využitím topologického kódování* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27. 5. 2021

Matúš Hladký
autor práce

PodĎakovanie:

Ešte pred úvodom bakalárskej práce by som rád vyjadril vďačnosť niektorým ľuďom, bez ktorých by moje štúdium nemalo nádej na úspech. Na prvom mieste by som sa rád poďakoval môjmu vedúcemu práce, doc. Ing. Daliborovi Bartoňkovi, CSc. za ochotu, trpezlivosť a neoceniteľné rady poskytnuté pri tvorbe tejto práce. Rovnako by som rád vyjadril vďaku ďalším členom Ústavu geodézie a kartografie na VUT v Brne, ktorí mi umožnili poznať a pochopiť problematiku tohto oboru. Moja vďaka patrí tiež P. Jaroslavovi Rašovskému, ktorí ochotne povolil zameranie kostola. Na záver by som rád vyjadril vďaku ľuďom z môjho blízkeho okolia, mojej rodine, priateľke a mojím priateľom, ktorí ma počas celého štúdia podporovali.

OBSAH

1. ÚVOD.....	10
2. LOKALIZÁCIA OBJEKTU.....	12
3. HISTÓRIA A OPIS OBJEKTU	14
4. PRÍPRAVNÉ PRÁCE	15
4.1 Výber objektu	15
4.2 Rekognoskácia	15
4.3 Polohové a výškové základy	16
4.3.1 Polohové bodové polia.....	16
4.3.2 Výškové bodové polia	17
4.4 Výber vhodnej metódy merania.....	18
4.4.1 Tachymetrická metóda.....	18
4.4.2 Metóda laserového skenovania.....	19
4.4.3 Metóda blízkej fotogrammetrie	20
5. MERAČSKÉ PRÁCE.....	20
5.1 Použité prístroje	21
5.2 Vybudovanie pomocnej meračskej siete.....	22
5.3 Podrobné zameranie objektu.....	24
6. POUŽITÉ SOFTWARE PRE SPRACOVANIE	26
6.1 GROMA v. 12.2.....	26
6.2 QGIS 3.4	26
6.3 Microstation V8i.....	27
7. VÝPOČTOVÁ ČASŤ.....	28
7.1 Výpočet v software GROMA	28
7.2 Kontrola presnosti.....	32
8. GRAFICKÉ SPRACOVANIE	34
8.1 Tvorba predbežného modelu	34
8.2 Topologické kódovanie a import do QGIS.....	35
8.3 Úprava drátového modelu v Microstation V8i	37
9. ZÁVER	41
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY A ZDROJOV. Chyba! Záložka nie je definovaná.	
ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK.....	45
ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK	46
ZOZNAM OBRÁZKOV	46
ZOZNAM TABULIEK	47

ZOZNAM PRÍLOH.....	48
VIAZANÉ PRÍLOHY	48
ELEKTRONICKÉ PRÍLOHY.....	48

1. ÚVOD

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo zamerať geodetickými metódami kostol sv. Jana Nepomuckého a následne spracovať získané dáta s pomocou topologického kódovania do podoby drátového modelu v súradnicovom systéme S-JTSK a výškovom systéme Bpv. Tento kostol sa nachádza v mestskej časti Brna nazvanej Starý Lískovec a bol postavený v 20. rokoch minulého storočia. Objekt bol vybraný po konzultácii s vedúcim práce ako vhodný, čo sa rozmerov a architektonickej zložitosti týka. V prvých kapitolách je opísaná lokalizácia, história a opis vybraného objektu.



Obr. 1 – Kostol sv. Jana Nepomuckého v Starém Lískovci, Brno [autor]

Nasledujúce dve kapitoly sú venované všetkým činnostiam, ktoré sú spojené s terénnymi prácami. V štvrtej kapitole sa jedná o prípravné práce, do ktorých je zahrnutá rekognoskácia okolia kostola sv. Jana Nepomuckého, výber vhodných polohových či výškových základov pre vybudovanie pomocnej meračskej siete a takisto zvolenie vhodnej

metódy zamerania objektu vzhľadom k dostupným prístrojom a hlavne vzhľadom k zadaniu práce. V ďalšej kapitole sú opísané použité prístroje, kroky podniknuté k vybudovaniu pomocnej meračskej siete a konečne samotné podrobné meranie objektu.

Výberu vhodných softwarov na spracovanie nameraných dát je venovaná ďalšia kapitola. V tej je stručne opísaný každý software, využitý k vyhotoveniu drátového modelu.

Spracovaniu sú venované posledné dve kapitoly. Výpočetnej časti je venovaná siedma kapitola, v ktorej je opísaný postup výpočtu súradníc bodov pomocnej meračskej siete, výpočet súradníc podrobných bodov a v závere tejto časti kontrola presnosti meraných bodov. Grafické spracovanie, tým sa rozumie príprava zoznamu podrobných bodov, vygenerovanie drátového modelu v prostredí QGIS 3.4 a úprava takto vytvoreného modelu v prostredí softwaru Microstation V8i, je náplňou ôsmej kapitoly. Výsledný drátový model je tu znázornený na obrázku.

V závere sa zhodnocuje použitá metóda merania a spracovania, posudzujú sa jej klady a zápory a porovnáva sa s inými metódami merania a tvorby modelov objektov.

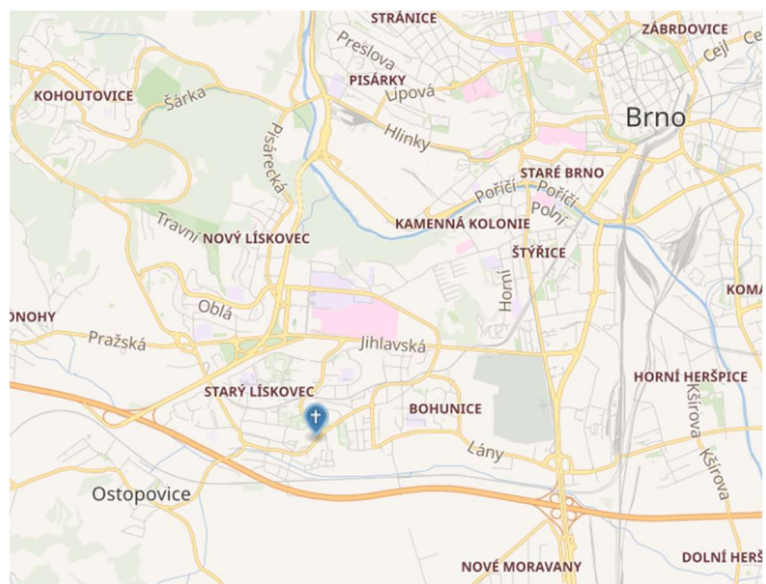
2. LOKALIZÁCIA OBJEKTU

Zameriavaný objekt, kostol sv. Jana Nepomuckého, sa nachádza v Starém Lískovci, mestskej časti štatutárneho mesta Brna. Táto mestská časť je tvorená mestskou štvrťou, nazývanou Starý Lískovec (pôvodne iba Lískovec). Jej história siaha až do stredoveku, konkrétne na začiatok 14. storočia, odkiaľ pochádza prvá písomná zmienka o vsi Lískovec. Významným bol rok 1919, kedy sa celá ves Lískovec stala súčasťou mesta Brna. V súčasnosti táto mestská časť zaberá 3,28 km² katastrálnej výmery a je tvorená takmer celým katastrálnym územím Starý Lískovec a drobnou časťou katastrálneho územia Nový Lískovec. Samosprávna mestská časť vznikla 24. novembra 1990 a žije tu cez 12 000 obyvateľov. [1]

Samotný objekt kostola sa nachádza vo východnej časti, takmer na okraji katastrálneho územia Starý Lískovec, na miernom svahu nad ulicou Elišky Přemyslovny.



Obr. 2 – Lokalizácia mestskej časti Starý Lískovec v okrese Brno-město [16]

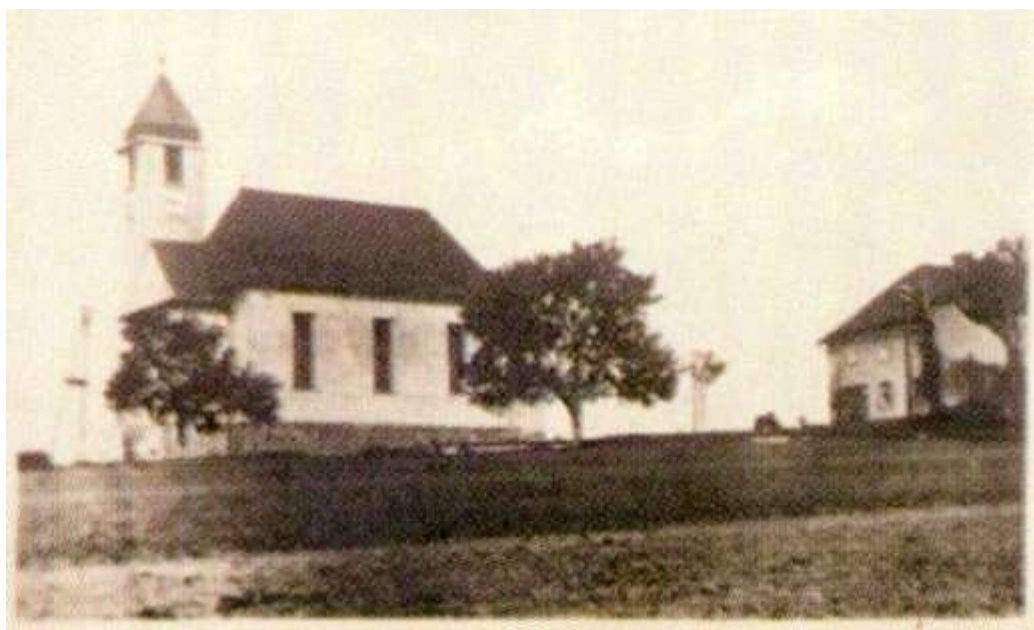


Obr. 3 – Lokalizácia kostola sv. Jana Nepomuckého v mestskej časti Starý Lískovec [17]

3. HISTÓRIA A OPIS OBJEKTU

Kostol sv. Jana Nepomuckého v Starém Lískovci bol vystavaný na náklady konventu kláštora augustiniánov v Starom Brne. Projekt spracoval Ing. arch. Vladimír Fischer, profesor České vysoké školy technické v Brne. Stavba bola zahájená koncom apríla 1923 staviteľom Leopoldom Čuprom za dobrovoľnej výpomoci farníkov, ktorí okrem bezplatnej práce navyše ešte prispeli značnou finančnou čiastkou z verejnej zbierky. Základný kameň bol posvätený 17. 5. 1925 prelátom a opátom kláštora augustiniánov v Starom Brne, Františkom Saleským Bařinou a dňa 3. 10. 1926 vysvätil už dokončený kostol brnenský biskup ThDr. Josef Kupka. Kostol má bočnú štíhlu vežu, samotná stavba je jednodľová, pozdľžna a na vysokej kamennej podmurovke. Architektúra objektu sa vyznačuje veľkou jednoduchosťou. S týmto kostolom je spojené okrem vyššie spomenutých aj meno P. Josefa Hinterhölzla, ktorý tu pôsobil ako administrátor v duchovnej správe v rokoch 1976 – 1981. Výzdobu interiéru kostola tvoria obrazy od maliara Jana Köhlera, ktorý ornamentikou ozdobil aj kazetový strop kostola. Pozoruhodné sú taktiež vitráže v oknách od O. Vačkáře, ktoré zobrazujú sedem výjavov z Biblie a života svätých. V neposlednom rade sa v inventáre kostola nachádzajú aj varhany, postavené v roku 1983 majstrom Holčapkem v Dřevopodniku mesta Brna. [2]

V súčasnosti sa pri kostole nachádza samostatná rímskokatolícka farnosť, zahrnujúca Starý Lískovec a Bohunice, ktorá bola zriadená 1. januára 1930. [1]



Obr. 4 – Kostol sv. Jana Nepomuckého na snímku z 30. rokov 20. storočia [2]

4. PRÍPRAVNÉ PRÁCE

4.1 Výber objektu

Vybraná téma bakalárskej práce bola na začiatku skonzultovaná s vedúcim práce. Na tejto konzultácii bola prediskutovaná hlavná myšlienka práce, s ktorou bola spojená aj metóda merania a samozrejme výber zameriavaného objektu. Kritériami obmedzujúcimi výber, zadanými vedúcim práce, boli hlavne veľkosť a architektonická kompozícia objektu. Hľadaná budova, ktorá mala byť predmetom merania, mala mať v rozumnom pomere vyššie dve spomenuté podmienky. Od toho sa samozrejme odvíja množstvo nameraných dát a zložitosť ich následného spracovania.

Ďalšími podmienkami, ktoré už boli volené autorom práce, boli lokalita vybraného objektu a charakter krajiny okolo neho. Prvá podmienka bola veľmi dôležitá z hľadiska dopravy a prepravy používaných prístrojov a materiálu. Druhá podmienka bola predpokladom k úspešnému meraniu zvolenou metódou, pretože v zarastenom či zastavanom priestore by zameranie objektu mohlo byť skutočným problémom. V súvislosti s vekom vyberanej budovy či objektu neboli kladené žiadne kritériá.

Po starostlivom zvážení viacerých možností, ktoré sa ponúkali v Brne a jeho blízkom okolí, bola zvolená práve stavba kostola sv. Jana Nepomuckého v Starém Lískovci. Objekt bol zvolený kvôli rozmerom, pomernej jednoduchosti tvarov a taktiež vďaka značnej priestornosti jeho blízkeho okolia, ktoré zaručovalo bezproblémový priebeh zameriavania objektu. Po výbere objektu nasledovalo kontaktovanie farára P. Jaroslava Rašovského a jeho informovanie o tom, že v nasledujúcich mesiacoch bude v okolí kostola prebiehať geodetické meranie. Kontaktovanie prebehlo formou emailu a P. Jaroslav Rašovský ochotne povolil priebeh prác.

4.2 Rekognoskácia

Po úspešnom výbere objektu a vybavení záležitostí týkajúcich sa pohybu v okolí kostola sa mohlo začať s prvými krokmi, vedúcimi k terénnym meračským prácam. Významným krokom bol priebeh rekognoskácie objektu a jeho okolia. Bližšiemu pozorovaniu boli podrobené hlavne komplexnejšie časti architektúry kostola, s ktorými bezprostredne súviselo rozmiestnenie bodov pomocnej meračskej siete. Počas tohto kroku boli na objekte nájdené rôzne prvky, ako napr. odkvapy, ktoré mohli meranie skomplikovať. Popri rekognoskácii budovy prebiehala aj fotodokumentácia objektu, ktorá mala slúžiť ako

podklad pre vyhotovenie meračských náčrtov pre podrobné meranie. Pomerne otvorené priestranstvo okolo objektu zaisťovalo hladký priebeh merania, aký si zvolená metóda vyžadovala.

Ďalším dôležitým krokom spojeným s prieskumom objektu a jeho okolia bola rekognoskácia bodov polohových a výškových základov.

4.3 Polohové a výškové základy

Súbory bodov vytvárajú bodové polia, ktoré sa môžu podľa účelu deliť na polohové, výškové alebo tiažové. Z hľadiska tejto bakalárskej práce bude vhodné si niečo povedať o prvých dvoch rozdeleniach. [3]

4.3.1 Polohové bodové polia

Polohové bodové polia môžeme podľa ďalších kritérií rozdeliť nasledovne:

- Základné polohové bodové pole tvoria (ZPBP)
 - body referenčnej siete nultého rádu
 - body Astronomicko-geodetickej siete (záväzná skratka „AGS“)
 - body Českej štátnej trigonometrickej siete (záväzná skratka „ČSTS“)
 - body geodynamické
- Zhust'ovacie body tvoria
 - zhust'ovacie body (ZhB)
 - ostatné body (predovšetkým orientačné body pridružené k (ZhB)
- Podrobné polohové bodové pole (PPBP) [3]

Charakteristikou presnosti vyššie uvedených polohových bodových polí je stredná súradnicová chyba vyjadrená vzorcom $m_{x,y} = \sqrt{(m_x^2 + m_y^2)}$, kde m_x je stredná chyba súradnice X a m_y stredná chyba súradnice Y. ZPBP a ZhB sú navyše charakterizované aj strednou chybou trigonometrického určenia výšky m_h . Charakteristiky presnosti polohových bodových polí sú uvedené nižšie:

- Základné polohové bodové pole tvoria (ZPBP)

$$m_{x,y} = 0,015 \text{ m} ; m_h = 0,1 \text{ m} [4]$$

- Zhust'ovacie body (ZhB)

$$m_{x,y} = 0,02 \text{ m} ; m_h = 0,1 \text{ m} [4]$$

- Podrobné polohové bodové pole (PPBP)

$$m_{x,y} = 0,06 \text{ m} [7]$$

4.3.2 Výškové bodové polia

Výškové bodové polia delíme podobne ako polohové:

- Základné výškové bodové pole tvoria
 - základné nivelačné body
 - body Českej štátnej nivelačnej siete I. až III. rádu (záväzná skratka „ČSNS“)
- Podrobné výškové bodové pole tvoria
 - nivelačné siete IV. rádu
 - plošné nivelačné siete
 - stabilizované body technických nivelácií [3]

Z vyššie uvedených bodových polí boli nakoniec po rekognoskácii uznané za vhodné pre vybudovanie pomocnej meračskej siete iba body ZPBP a PPBP, a to konkrétne body 16.1, 16.2, 509, 527 a 576. Body výškových bodových polí neboli využité z dôvodu neprístupnosti či znehodnotenia stabilizácie (zateplenie budovy apod.).

Č. b.	Y [m]	X [m]	Z [m]
16.1	601381,820	1163696,890	242,460
16.2	601423,150	1163735,360	241,160
509	601304,850	1163627,780	
527	601369,940	1163709,170	
576	601495,490	1163817,740	

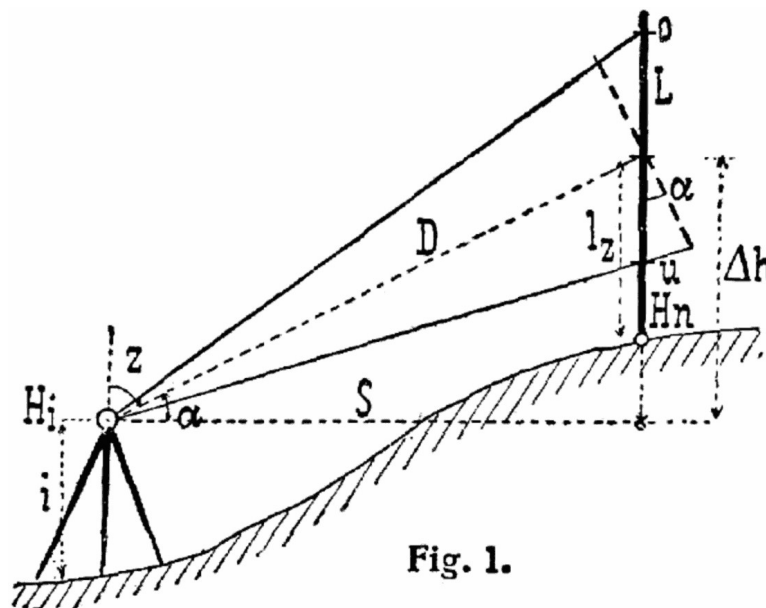
Tab. 1 - Zoznam použitých bodov ZPBP a PPBP [autor]

4.4 Výber vhodnej metódy merania

Zameranie objektu pre tvorbu drátového modelu môže byť uskutočnené viacerými metódami. Z klasických metód je to tachymetria, z modernejších metód je to dnes veľmi populárne laserové skenovanie a nakoniec metóda blízkej fotogrammetrie. Jednotlivé spôsoby merania budú popísané v nasledujúcich odstavcoch.

4.4.1 Tachymetrická metóda

Jedná sa o klasickú metódu geodetického zameriavania polohopisu a výškopisu. V minulosti boli pre účely tachymetrického merania využívané teodolity vybavené zvislým kruhom a diaľkomernými ryskami v zámernom obraze. Takto vybavený prístroj sa v tom prípade nazýval nitkový tachymeter. K meraniu týmto spôsobom bolo nutné mať ešte tzv. tachymetrickú latu. Princípom bolo súčasné zameriavanie horizontálneho a zenitového uhla a určenie dĺžky zo zenitového (výškového) uhla a úseku stupnice odčítaného na late. Týmto spôsobom boli určené súradnice meraného bodu polárnou metódou a jeho výška trigonometricky. Dnešný postup je podobný, čo sa meraných veličín týka, iba namiesto nitkového tachymetra sa používa totálna stanica s elektronickým diaľkomerom, namiesto tachymetrickej laty sa využíva odrazný hranol na výtyčke, v prípade zameriavania bodov na budovách sa využíva bezhranolový režim merania dĺžok. Táto metóda má výhody v selektívnom určovaní bodov, pomernú dostupnosť potrebných prístrojov a taktiež umožňuje priebežne kódovať merané body pre uľahčenie nasledujúceho spracovania. Nevýhodou je časová náročnosť.



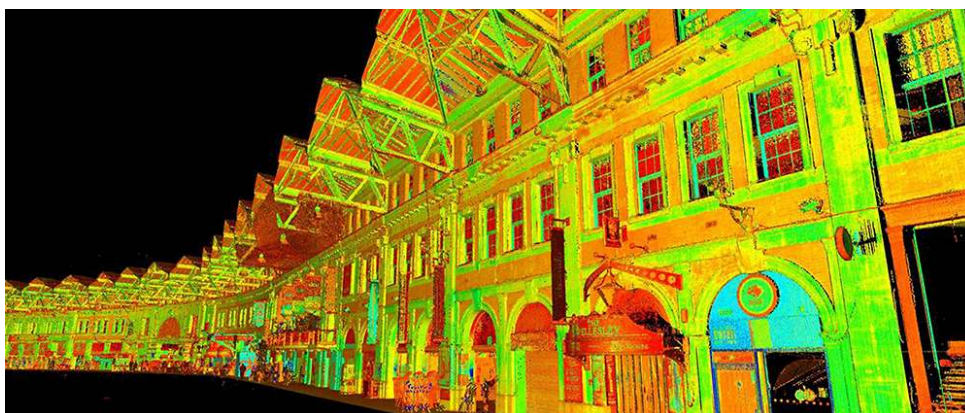
Obr. 5 – Schéma nitkovej tachymetrie [21]

4.4.2 Metóda laserového skenovania

Inak nazývaná aj LIDAR (Light Detection and Ranging) je modernou metódou hromadného zberu dát. Má leteckú aj terestrickú podobu. Laserový skener môže byť umiestnený na rôznych nosičoch (lietadlo, auto, loď, dron,...), alebo môže fungovať stacionárne. Pre zameriavanie budov je najčastejšie využívaná stacionárna metóda, kedy skener stojí na statíve nad bodom, ktorého súradnice sú známe (alebo sa neskôr určia). Princíp laserového skenovania je založený na rýchlom rozmetaní laserových lúčov do priestoru, vykonávaného pomocou rotujúceho hranolu či zrkadla alebo optického vlákna. Výstupom takejto metódy zberu dát je tzv. mračno bodov, ktoré sa musí pri spracovaní transformovať z lokálnej súradnicovej sústavy do geodetického referenčného systému. Významnými faktormi ovplyvňujúcimi dosah skeneru sú odrazivosť povrchu objektu a znečistenie vzduchu, ktorým lúč prechádza. Výhodou je veľké množstvo zmeraných bodov za krátky čas, nevýhodou neselektívne určovanie bodov a veľké nároky na spracovávacie zariadenia. [5]



Obr. 6 – Pozemný laserový skener Faro [22]



Obr. 7 – Point cloud, tzv. mračno bodov [23]

4.4.3 Metóda blízkej fotogrammetrie

Blízka fotogrammetria je časť fotogrammetrie, ktorá sa zaoberá špeciálnymi aplikáciami v stavebníctve, meranie deformácií stavebných konštrukcií, strojárstve, v starostlivosti o pamiatky, v archeológii atď. Snímkovaný objekt sa obvykle nachádza vo vzdialenosti 1 – 100 m. Hlavné upotrebenie nachádza táto odnož fotogrammetrie najmä v stavebníctve (podklad pre vyhotovenie výkresov fasád, kontrolné meranie geometrických parametrov stavebných dielcov, meranie zosuvov, stanovenie plôch a kubatúr, kontrolné meranie prejazdnych profilov na železnici a podzemných dráhach). Čo sa týka používaných prístrojov, v minulosti boli pre účely blízkej fotogrammetrie využívané meračské kamery (napr. značky Zeiss Jena), čiastočne meračské kamery a nemeračské kamery. V súčasnosti sa využívajú najviac práve nemeračské kamery. Najvhodnejšie sú digitálne zrkadlovky s objektívom s konštantnou nominálnou ohniskovou vzdialenosťou. [5]

Po konzultácii s vedúcim práce bola jednoznačne zvolená prvá metóda, ktorá umožňovala selektívne meranie bodov a priebežné kódovanie. Zároveň sa javila ako najvhodnejšia z hľadiska finančnej náročnosti a dostupnosti potrebného prístrojového vybavenia.

5. MERAČSKÉ PRÁCE

Po dôkladnej rekognoskácii objektu a okolia, ako aj blízkych polohových základov, sa mohlo pristúpiť k ďalšej etape. Terénnym meračským prácam predchádzal ešte starostlivý výber vhodného vybavenia a prístrojov, bez ktorých by nebolo možné realizovať budovanie PMS ani podrobné meranie. V nasledujúcej podkapitole sú preto popísané všetky prístroje, použité pri meračských prácach.

5.1 Použité prístroje

Prvý krok meračských prác bol samozrejme vybudovanie PMS, ktorá by bola vhodným základom pre podrobné meranie. Pre tieto účely bola zvolená aparátúra Trimble R8s (v. č. 5722R02206).



Obr. 8 - GNSS aparátúra Trimble R8s [19]

Presnosť aparátúry Trimble R8s	
Metóda RTK	
Presnosť v polohe	8 mm + 1 ppm
Presnosť vo výške	15 mm + 1 ppm
Čas inicializácie	typicky < 8 sekúnd
Spôľahlivosť inicial.	typicky > 99,9%

Tab. 2 – Technické parametre použitej GNSS aparátúry Trimble R8s [8]

Spolu s aparátúrou bolo využité aj priložené príslušenstvo, kontroler Trimble a karbónová výtyčka.

Pre podrobné meranie kostola bolo potrebné zvoliť vhodnú totálnu stanicu, ktorá by bola schopná merať dĺžky v bezhranolovom móde, čo bolo pre účely práce nevyhnutné.

Preto bola zvolená totálna stanica Trimble M3 DR 2“ (v. č. DO36441). Tento prístroj bol vybraný mimo iné aj kvôli tomu, že autor už mal príležitosť s ním pracovať a táto voľba tým pádom meranie veľmi zjednodušila.



Obr. 9 – Totálna stanica Trimble M3 DR 2“ [9]

Parametre Trimble M3 DR 2"	
Ďalekohľad	
Dĺžka tubusu	125 mm
Obraz	vzpriamený
Zväčšenie	30 x
Min. vzd. zaostrenia	1,5 m
Presnosť merania dĺžok	
Hranol	$\pm 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$
Bezhranol	$\pm 3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$
Presnosť merania uhlov	
smer v dvoch polohách	2" / 0,5 mgon

Tab. 3 – Technické parametre totálnej stanice Trimble M3 DR 2" [20]

Všetky hore uvedené prístroje, ako aj ďalšie príslušenstvo (drevený statív, výtyčka s odrazným hranolom Trimble) boli požičané z inventáru Ústavu geodézie a kartografie VUT v Brne. Ďalší potrebný materiál ako meračské klince, kolíky, kladivo a dvojmeter boli využité z osobných zdrojov.

5.2 Vybudovanie pomocnej meračskej siete

Počas etapy rekognoskácie boli predbežne rozvrhnuté body PMS. Následne, v deň zamerania tejto siete boli body stabilizované príslušným spôsobom. Stabilizácia prebehla tak, aby nijak výrazne nezasiahla do vzhľadu okolia kostola. Z tohto dôvodu nebol k signalizácii použitý sprej. Použité stabilizácie boli: meračské klince v spevnenom povrchu (napríklad v dláždenej ploche pred kostolom) alebo drevené kolíky v nespevnom teréne (v parku okolo kostola). Umiestnenie bodov bolo volené podľa viditeľnosti medzi jednotlivými bodmi PMS a predovšetkým tak, aby bolo možné z jednotlivých stanovísk zamerať čo najviac podrobných bodov na objekte a jeho okolí.

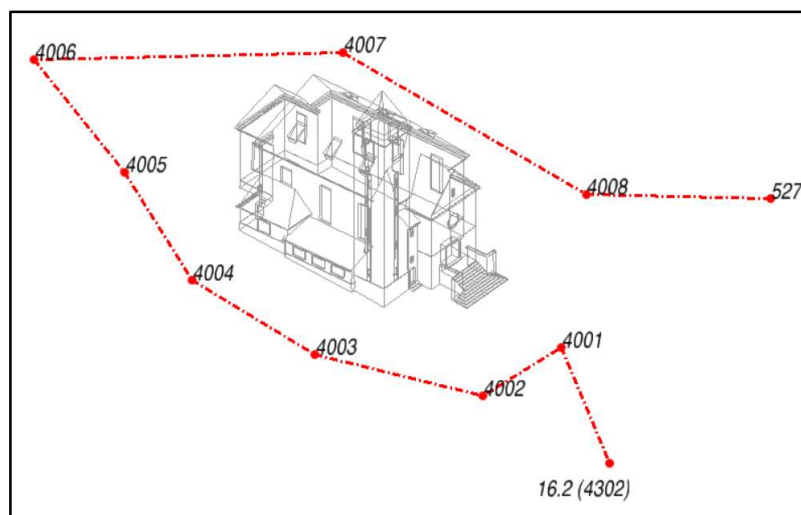


Obr. 10 – Stabilizácia meračským klincom [autor]



Obr. 11 – Stabilizácia dreveným kolíkom [autor]

realizovaný s prístrojom Trimble M3 DR 2“. Toto nové určenie bodov PMS prebehlo až mesiac po podrobnom meraní. Začiatok polygónového ťahu bol umiestnený na bode ZPBP číslo 16.2 a končil na bode PPBP číslo 527. Popri meraní polygónového ťahu bol určované aj identické body medzi jednotlivými stanoviskami. Takto určené identické body boli neskôr pri výpočte porovnané s im odpovedajúcimi bodmi zmeranými z rôznych stanovísk.



Obr. 13 – Pomocná meračská sieť ako súčasť drátového modelu [autor]

Č. b.	Y [m]	X [m]	Z [m]	Spôsob stabilizácie
4001	601411,239	1163715,264	241,969	meračský klinec
4002	601425,588	1163716,370	242,641	drevený kolík
4003	601435,415	1163697,924	244,361	drevený kolík
4004	601436,261	1163678,073	245,674	drevený kolík
4005	601426,719	1163657,189	246,288	drevený kolík
4006	601419,398	1163634,562	247,707	meračský klinec
4007	601389,263	1163656,513	244,689	drevený kolík
4008	601387,497	1163695,646	242,641	drevený kolík
4009	601401,376	1163786,016	238,457	drevený kolík

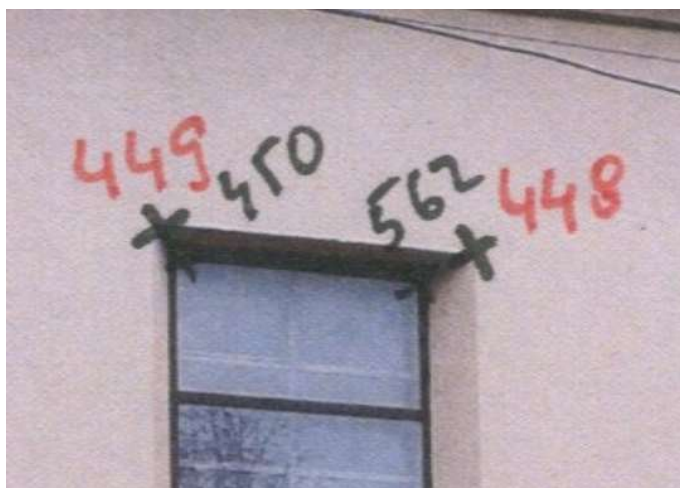
Tab. 4 – Zoznam súradníc bodov PMS a ich stabilizácií [autor]

Po určení bodov PMS metódou GNSS bolo zvažované aj overenie ich výšky vhodnou metódou, pravdepodobne technickou niveláciou z blízkeho bodu výškového bodového poľa. Kvôli novému určeniu bodov PMS pomocným polygónom a príliš veľkej vzdialenosti k najbližšiemu výškovému bodu nebolo nakoniec výškové overenie realizované.

5.3 Podrobné zameranie objektu

Po vybudovaní a stabilizovaní bodov pomocnej meračskej siete bolo možné prejsť k ďalšiemu kroku terénnych prác, a to k samotnému zameraniu objektu. Pri podrobnom meraní bola využitá priestorová polárna metóda. Hlavnými predmetmi zameriavania boli

významné tvary na objekte, ktoré by pri spracovaní čo najvernejšie zobrazili jeho skutočný stav, rozmery a tvar. Takýmto spôsobom boli zaznamenané hrany stien, podmurovky, rohy dverí, okien, striech atď. Prevažná väčšina podrobného merania prebiehala v bezhranolovom móde, iba v prípade terénu a okolitých prvkov polohopisu bol použitý odrazný hranol na výtyčke. Povrch stavby je pomerne rovný a väčšinu hrán tvoria pravé uhly, takže pri podrobnom meraní nedošlo k nijakým problémom spojeným so spôsobom zamerania určitého tvaru architektonickej kompozície. Najväčšie ťažkosti spôsobilo na niektorých miestach oplechovanie strechy, ktoré navyše pri určitých poveternostných podmienkach a hlavne pod príliš ostrým uhlom dopadu znemožňovalo spätný odraz lúča vyslaného elektronickým diaľkomerom. Takisto bolo nutné kontrolovať priestor medzi stanoviskom a meranou časťou objektu, či v ňom neprekážajú stromy alebo iná vegetácia, ktorá by mohla spôsobiť chybný odraz signálu.



Obr. 14 – Meračský náčrt (detail); spôsob rozlíšenia identických (červená) a podrobných bodov (čierna)

[autor]

Počas celého podrobného merania boli podrobné body zaznamenávané a zaznačované do vopred vyhotovených meračských náčrtov. Pre priehľadnosť boli zamerané identické body značené do náčrtov červenou farbou. Tieto náčrty sú uvedené v prílohe (príloha č. 4). Celkovo bolo zameraných 1003 podrobných bodov (ich zoznam – vid' príloha č. 6). Výsledkom meračských prác sú zápisníky podrobného merania (príloha č. 2).

Z dôvodu situácie, ktorá obmedzovala pohyb v interiéroch niektorých objektov, nebola braná do úvahy možnosť, že by mohol byť zameriavaný aj interiér budovy. Pre náplň bakalárskej práce teda dostatočne stačilo zameranie exteriéru kostola.

6. POUŽITÉ SOFTWARE PRE SPRACOVANIE

Vzhľadom k množstvu nameraných dát a nutnosti ich ďalšieho spracovania bolo nevyhnutnosťou použiť výpočtové a ďalšie softwary, ktoré by umožnili konštruovanie a tvorbu drátového modelu v digitálnom prostredí. Pod výpočtovým softwarom sa rozumie vhodný program, ktorý má v sebe zabudované vzorce pre výpočet väčšiny geodetických úloh. Ako software pre ďalšie spracovanie nameraných a vypočítaných dát bol zvolený program, schopný na základe topologického kódovania vytvoriť drátový model. Navyše bolo nutné použiť software typu CAD systémov, v ktorom by bolo možné vytvorený drátový model upraviť do finálnej podoby. V ďalších odstavcoch je stručne popísaný charakter všetkých použitých softwarov, ako aj ich využité funkcie. Okrem nižšie uvedených bol použitý ešte jednoduchý software pre úpravu fotografií (tvorba meračských náčrtov).

6.1 GROMA v. 12.2

GROMA v. 12.2 je geodetický systém pracujúci v prostredí MS Windows. Systém je určený ku komplexnému spracovaniu geodetických dát od surových údajov prenesených z totálnej stanice až po výsledné zoznamy súradníc, výpočtové protokoly a kontrolnú kresbu.[11]

V prostredí tohto výpočtového softwaru boli využité niektoré funkcie. Jednalo sa konkrétne o import zoznamu súradníc, výpočet mierkového koeficientu pomocou nástroja *Křovák*, z výpočtov geodetických úloh to boli funkcie *Polygonový pořad* a *Polární metoda dávkou*.

6.2 QGIS 3.4

QGIS (do verzie 2.0 označovaný aj ako *Quantum GIS*) je slobodný a multiplatformný geografický informačný systém (skratka GIS), ktorý podporuje prehliadanie, editáciu a analýzu geopriestorových dát. Vývoj tohto geografického informačného systému započal v roku 2002, vývojárom bol Gary Sherman. Verzia s označením 1.0 vyšla 5. januára 2009, nasledujúca verzia 2.0 potom 8. septembra 2013. V marci roku 2008 bol QGIS zaradený medzi projekty *Open Source Geospatial Foundation*. Okrem desktopovej a serverovej verzie je pripravovaná taktiež mobilná aplikácia pre *Android*. QGIS je písaný v programovacom jazyku C++, zásuvné moduly je možné vytvárať v jazyku C++ alebo v Pythone. Tento software umožňuje predovšetkým prehliadanie, tvorbu a editáciu rastrových a vektorových dát, spracovanie GPS dát a tvorbu mapových výstupov. Funkčnosť rozširujú zásuvné moduly, QGIS môže slúžiť tiež ako nadstavba. Ako zaujímavosť je uvedené, že QGIS je

používaný vo verejnom aj súkromnom sektore, využívajú ho napr. orgány švajčiarskeho kantonu Solothurn alebo rakúska spolková zem Vorarlbersko. [6]

Verzia, využívaná pri spracovaní tejto práce, sa úplne nazýva QGIS v. 3.4.6. Z jej funkcií bola využitá predovšetkým funkcia, umožňujúca nahrať a spustiť príslušného skriptu v programovacom jazyku Python (funkcia *Python Console*).

6.3 Microstation V8i

Systém *Microstation* je grafický editor strednej triedy určený pre vytvorenie a editáciu kresby v rôznych oboroch technickej praxe. Je koncipovaný ako hierarchia modulov, pričom jadrom je modul so základnými funkciami pre rovinnú aj priestorovú grafiku. *Microstation* je produktom americkej firmy *Bentley Inc.* (dcérska firma spoločnosti *Intergraph*). Do vtedajšej ČSFR bol systém po prvé importovaný prostredníctvom nemeckej pobočky autorskej firmy pre armádne účely v máji roku 1992. Od tej doby sa *Microstation* stal jedným z najrozšírenejších produktov v oblasti grafických systémov a zvlášť v obore geodézie je považovaný za neoficiálne vyhlásený štandard. Keďže ide o software z rodiny CAD, je schopný pracovať v dvoj- aj trojrozmernom prostredí. Posledné verzie sú určené pre operačné systémy z rodiny Microsoft Windows, staršie verzie boli aj pre UN*Xové systémy. Ako už bolo vyššie spomenuté, medzi oblasti využitia tohto softwaru patrí okrem geodézie aj kartografia alebo architektúra. Ako základný formát je používaný DGN, ale je schopný využívať aj iné formáty bežné v odvetví, napríklad DWG alebo DXF. Výsledné výstupy vie zapísať napríklad vo formátoch JPEG a BMP, animácie v AVI a 3D scény v VRML a PDF. Rovnako ako pre QGIS, aj pre *Microstation* existuje množstvo odborových rozšírení. [12] [14]

V prípade tejto bakalárskej práce bol *Microstation* zvolený z dôvodu užívateľovi veľmi priateľského pracovného prostredia, pričom mnoho funkcií sa dá naučiť intuitívne. Rovnako vďaka bohatým skúsenostiam s týmto CAD systémom, ktoré má autor tejto práce, bol zvolený práve *Microstation*. Okrem základných kresliacich funkcií bola využitá aj nadstavba softwaru GROMA pre *Microstation*, ktorá umožňuje import súradníc z textového súboru.

7. VÝPOČTOVÁ ČASŤ

Po dokončení terénnych prác a výbere vhodných výpočtových a grafických softwarov sa mohlo pristúpiť k prvej etape kancelárskych prác, t. j. k výpočtu súradníc PMS a následnému výpočtu podrobných bodov. Všetky výpočtové operácie prebiehali v prostredí geodetického výpočtového programu *GROMA* v. 12.2. Na záver prebehla kontrola polohovej a výškovej presnosti.

7.1 Výpočet v software GROMA

Prvým krokom bolo získanie nameraných dát z totálnej stanice. Export zápisníkov prebehol v prostredí softwaru prístroja, kde bol zvolený príslušný harddisk ako cieľová adresa prenášaných súborov. Pred exportom na harddisk bolo dôležité správne nastavenie parametrov exportovaných súborov. Ako harddisk bolo zvolené médium USB kľúč (patril k vybaveniu totálnej stanice), pomocou ktorého boli prenesené zápisníky HLADKY_BP.ASC (obsahujúci podrobné meranie) a HLADKY_BP2.ASC (obsahujúci zameranie PMS polygónom a zameranie identických bodov na objekte) do prostredia výpočtového zariadenia, v tomto prípade na prenosný PC. Prípony Exportovaných zápisníkov boli následne v PC upravené na .ZAP, kvôli ich správne importu do prostredia softwaru GROMA. Podobným spôsobom prebehol aj export z kontroleru GNSS aparatury, výstupným súborom bol ale iba protokol (viď príloha č. 5).

Po tomto kroku sa mohlo pristúpiť k príprave na výpočet v software GROMA. Najprv bolo nutné získať súradnice známych použitých bodov ZBPB a PPBP. Tie boli získané z internetového portálu *Geoprohlížeč*, kde pomocou vrstvy *Bodová pole* boli tieto hľadané body lokalizované na mape a následne boli zobrazené ich geodetické údaje. Takto získané súradnice boli vložené do pripraveného zoznamu súradníc v prostredí GROMA, ktorý vznikol pomocou funkcie *Soubor* → *Nový* → *Seznam souřadnic*. Do tohto zoznamu bol predbežne pridaný aj bod číslo 4009 PMS, ktorý vznikol GNSS meraním a jeho súradnice boli určené priemerom z nameraných hodnôt.

Dôležité bolo nastavenie mierkového koeficientu, ktorý v sebe zahŕňa opravu z kartografického skreslenia a opravu z nadmorskej výšky, a vstupuje do výpočtových operácií. Tento koeficient bol vypočítaný pomocou funkcie *Nástroje* → *Křovák*. Pre výpočet boli použité súradnice a výška bodu ZBPB číslo 000000943020161 (16.1). Výsledný mierkový koeficient mal hodnotu 0,999863730284.

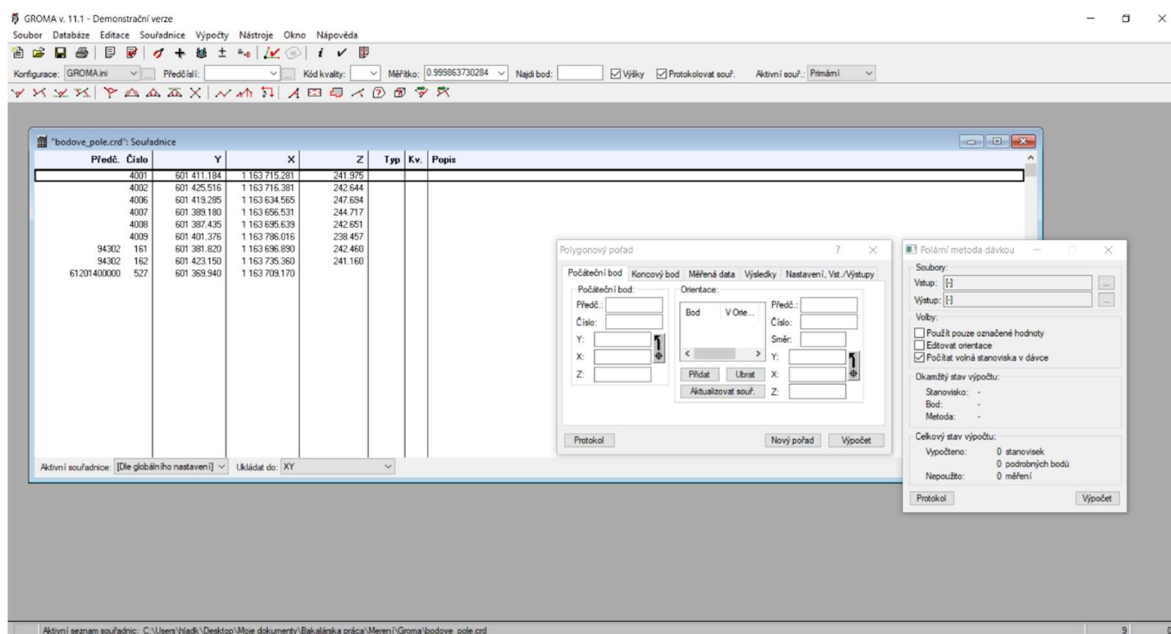
Obr. 15 – Výpočet mierkového koeficientu v software GROMA [autor]

Ďalej sa mohlo pristúpiť vo výpočte k ďalším operáciám. Najprv sa pripravili nové zoznamy súradníc, do ktorých sa následne ukladali nové vypočítané súradnice bodov. Následne boli do prostredia softwaru GROMA naimportované zápisníky (už s novou príponou) HLADKY_BP.ZAP a HLADKY_BP2.ZAP. Ešte pred ich importom bolo nevyhnutné skontrolovať a prípadne upraviť nastavenia záznamníku v programe. Tento postup prebehol pomocou funkcií *Soubor* → *Nastavení* → *Záznamník*.

Obr. 16 – Nastavenie parametrov importovaného zápisníku v software GROMA [autor]

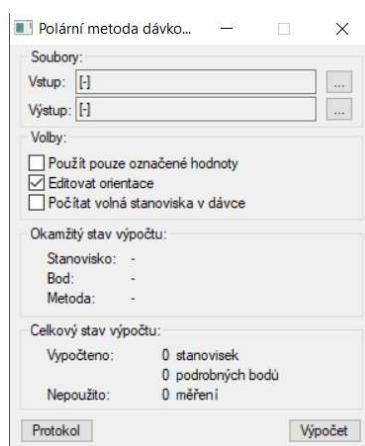
Rovnakou funkciou prebehla kontrola a úprava pracovných jednotiek a počtu desatinných miest pre jednotlivé merané veličiny, zaznamenané v zázpisníku.

Po tomto kroku sa mohlo pristúpiť k výpočtu polygónového ťahu. Táto akcia sa dá v prostredí programu GROMA uskutočniť funkciou *Výpočty* → *Polygonový pořad*. Ešte pred zahájením samotného výpočtu bol v časti *Nast. Vst./Výstupy* nastavený typ polygónového ťahu ako *Pomocné body*. Následne sa pristúpilo k samotnému výpočtu. Merané dáta boli čerpané zo zázpisníka HLADKY_BP2.ZAP. Najprv boli v časti *Počáteční bod* nastavené všetky parametre, t. j. číslo a súradnice počiatočného bodu (16.2), ďalej všetky orientácie merané na tomto bode, takisto ich čísla, súradnice a merané smery a dĺžky. Podobný postup sa opakoval v časti *Koncový bod*. Následne bola vyplnená časť *Měřená data*. Vždy bolo vyplnené číslo stanoviska, jeho súradnice, výška prístroja, ďalej meranie vzad a vpred (taktiež číslo bodu, výška cieľa, merané veličiny). Na počiatočnom bode nebola vyplnená zámerná vzad, na koncovom zámerná vpred. Zároveň s polygónovým ťahom prebehol aj výškový výpočet. Výsledky výpočtu pomocného polygónového ťahu sú uvedené v protokole (príloha č. 5).

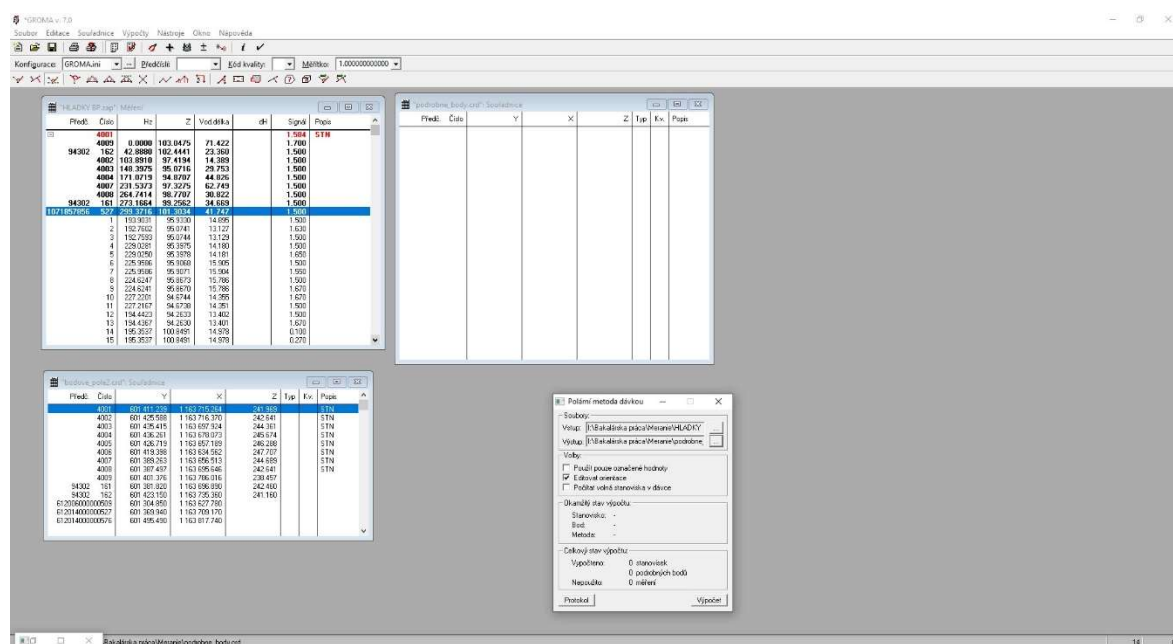


Obr. 17 – Zoznam súradníc bodového poľa (vľavo), príprava na výpočet polygónového ťahu (uprostred), príprava na výpočet polárnej metódy dávkou (vpravo) v prostredí softwaru GROMA [autor]

Ďalším krokom po výpočte súradníc bodov PMS bol výpočet súradníc podrobných bodov pomocou funkcie *Výpočet → Polárny metóda dávkou*. Aby mohla táto funkcia správne fungovať, musel byť v pracovnom prostredí softwaru GROMA vytvorený nový zoznam súradníc a zápisník podrobného merania nesmel obsahovať chyby v zápise. Po otvorení funkcie pre výpočet podrobných bodov bol do kolónky *Vstup* zvolený zápisník podrobného merania HLADKY_BP.ZAP, do kolónky *Výstup* zvolený príslušný novo vytvorený a pomenovaný zoznam súradníc. Výpočet prebiehal postupne, po jednotlivých stanoviskách, pričom na každom stanovisku bolo možné editovať orientácie, tzn. pridávať/uberať orientácie. Podľa toho sa menili konfigurácie jednotlivých meraní a bolo možné týmto spôsobom vylúčiť niektoré podozrivé merania.



Obr. 18 – Funkcia výpočet polárnej metódy dávkou v programe GROMA [autor]



Obr. 19 – Výpočet polárnej metódy dávkou v prostredí softwaru GROMA [autor]

Vypočítané súradnice podrobných bodov sa v priebehu výpočtu ukladali po stanoviskách (tak, ako boli zmerané) do nového zoznamu súradníc. Celkovo bolo takto vypočítaných 1003 podrobných bodov. Výpočet polárnej metódy dávkou je doložený v protokole (viď príloha č. 5).

Na záver výpočtu boli ešte dopočítané identické body, zameriavané počas určovania bodov PMS polygónovým ťahom. Ako identické body boli zvolené body na objekte, ktoré sa dali znova jednoznačne identifikovať – to sú hrany okien, dverí, rohy podmurovky apod. Podobne ako podrobné body, aj tieto body boli vypočítané pomocou funkcie *Polárni metoda dávkou*. Doklad o ich výpočte a rovnako aj ich súradnice sú zaprotokolované (viď príloha č. 5). Takto zmerané body boli porovnané s im odpovedajúcimi podrobnými bodmi zmeranými pri podrobnom meraní.

7.2 Kontrola presnosti

Podrobné zameranie kostola sv. Jana Nepomuckého bolo potrebné nejakým spôsobom overiť. Bola preto vybraná metóda podľa ČSN 01 3410 Overenie tvorby máp a údržby máp, konkrétne bola využitá metóda identických bodov zameraných z rôznych stanovísk. Vykonávané zameriavanie objektu bolo vykonávané podľa 3. triedy presnosti.

Trieda presnosti	U _{xy} [m]	U _H [m]	U _v [m]
1	0,04	0,03	0,30
2	0,08	0,07	0,40
3	0,14	0,12	0,50
4	0,26	0,18	0,80
5	0,50	0,35	1,50

Tab. 5 – Triedy presnosti a im odpovedajúce kritériá podľa ČSN 01 3410 [13]

7.2.1 Kontrola polohovej presnosti

Pri kontrole polohovej presnosti sa porovnávali súradnice zameraných identických bodov a im odpovedajúcich podrobných bodov a dosiahnuté odchýlky boli posudzované podľa nasledujúcich hypotéz.

1. polohové odchýlky $\Delta p = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$ podrobných bodov odpovedajú podmienke $|\Delta p| \leq 1,7 * u_{xy}$, kde u_{xy} odpovedá kritériu zvolenej triedy presnosti

2. stredná výberová súradnicová chyba $s_{x,y}$ vypočítaná zo vzťahu

$$s_{x,y} = \sqrt{0,5(s_x^2 + s_y^2)} ; \text{ kde } s_x = \sqrt{\frac{1}{kN} \sum_{j=1}^N \Delta X_j^2} \text{ a } s_y = \sqrt{\frac{1}{kN} \sum_{j=1}^N \Delta Y_j^2}$$

odpovedá podmienke $s_{XY} \leq \omega_{2N} \cdot u_{xy}$, kde ω_{2N} odpovedá hodnote 1,1 [13]

Takýmto spôsobom bolo testovaných 51 dvojíc súradníc X a Y identických bodov, pričom podmienku 1. aj 2. splnili všetky testované hodnoty. Výsledky sú uvedené v tabulkách (viď príloha č. 7).

Počet ID bodov	N	51
Stredná chyba súradnice Y	Sy [m]	0,012
Stredná chyba súradnice X	Sx [m]	0,014
Stredná súradnicová chyba	Sx,y [m]	0,013
Kritérium uxy podľa 3. tr. presnosti	uxy [m]	0,14
Koeficient ω_{2N} pre počet ID bodov	ω_{2N}	1,1
Podmienka I.		
1,7*uxy [m]	0,238	splnená pre všetky body
Podmienka II.		
ω_{2N} *uxy [m]	0,154	splnená pre výberovú Sx,y

Tab. 6 – Výsledky polohovej kontroly zameraných identických bodov [autor]

7.2.1 Kontrola výškovej presnosti

Rovnako ako pre polohu, aj pre výšky identických bodov bola vykonaná kontrola presnosti. Opäť boli posudzované dosiahnuté odchýlky medzi porovnávanými bodmi, podľa nasledujúcich podmienok.

1. odchýlky vo výške $\Delta h = H_1 - H_2$ identických bodov odpovedajú podmienke $|\Delta h| \leq 2 \cdot u_H \cdot \sqrt{k}$, kde u_H odpovedá kritériu zvolenej triedy presnosti a k je volené 2, ak má kontrolné (druhé) meranie rovnakú presnosť

2. stredná výberová výšková chyba s_H vypočítaná zo vzťahu

$$s_H = \sqrt{\frac{1}{kN} \sum_{i=1}^N \Delta H_i^2} \text{ odpovedá podmienke } s_H \leq \omega_N \cdot u_H ,$$

kde ω_{2N} odpovedá hodnote 1,1 a podmienka je volená pre spevnený povrch. [13]

Opäť bolo testovaných 51 odchýliek výšok identických bodov, pričom podmienku 1. aj 2. splnili všetky testované hodnoty. Výsledky sú uvedené v tabulkách (viď príloha č. 7).

Počet ID bodov	N	51
Výberová str. ch. výšky	SH [m]	0,018
Kritérium uxy podľa 3. tr. presnosti	uH [m]	0,012
Koeficient ωN pre počet ID bodov	ωN	1,1
Koeficient k pre rovnakú presnosť	k	2
Podmienka I.		
$2 \cdot uH \cdot \sqrt{k}$ [m]	0,339	splnená pre všetky body
Podmienka II.		
$\omega N \cdot uH$ [m]	0,132	splnená pre výberovú SH

Tab. 7 – Výsledky výškovej kontroly zameraných identických bodov [autor]

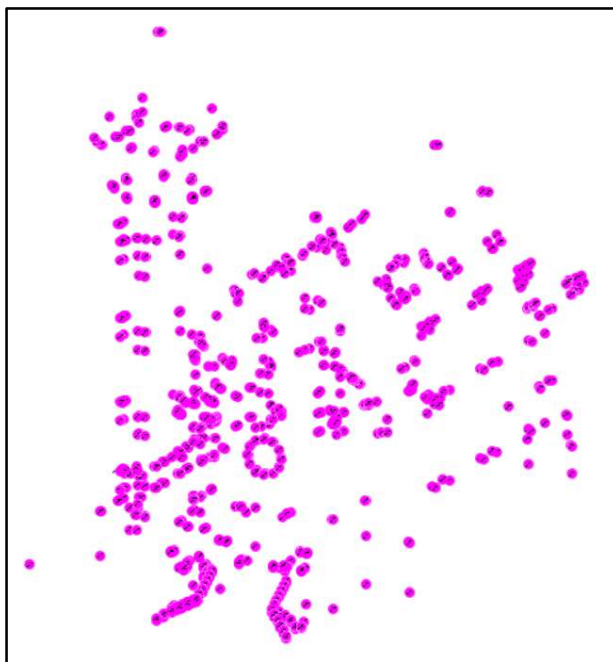
8. GRAFICKÉ SPRACOVANIE

Po etape výpočtu bodov PMS a podrobných bodov sa mohlo prejsť k ďalšiemu kroku kancelárskych prác, a to k samotnej tvorbe drátového modelu kostola sv. Jana Nepomuckého. K tomuto účelu boli vybrané dva vyššie opísané softwary, jeden založený na princípe GIS, druhý na princípe CAD systémov. Hlavnou úlohou tejto časti spracovania práce bolo vhodným spôsobom priradiť kódy podrobným bodom, aby z nich mohol byť automaticky vygenerovaný drátový model.

8.1 Tvorba predbežného modelu

Aby mohli byť podrobné body správne nakódované, bolo potrebné tieto kódy vyhotoviť s pomocou meračských náčrtov. Preto boli súradnice podrobných bodov predbežne naimportované do prostredia softwaru Microstation V8i s využitím nadstavby softwaru GROMA, ktorý umožňuje import zoznamu súradníc v textovom súbore. Pre tieto účely bolo potrebné vhodne zoznam súradníc upraviť. V pracovnom prostredí softwaru Microstation bola cez ponuku *Pomůcky* použitá funkcia *Aplikace MDL*, cez ktorú bola z *Dostupných aplikací* vybraná nadstavba GROMA pre Microstation. V otvorenom okne sa cez *Nastavení* → *Atributy* upravili grafické parametre importovaných bodov (napríklad hrúbka bodu, veľkosť čísla bodu, zobrazenie výšky a pod.). Z týchto bodov bol postupne, pomocou meračských náčrtov a fotodokumentácie, vyhotovený predbežný drátový model. Počas tejto fáze sa odhalili aj chybné odrazy bodov, či nesprávne zamerané časti objektu. Vďaka týmto odhaleniam bolo neskôr možné chýbajúce body dodatočne zamerať. Niektoré časti objektu nebolo možné zamerať (spodné vnútorné rohy vysoko umiestnených okien, rohy stien schované za odkvapmi apod.), preto boli takéto body dodatočne konštruované

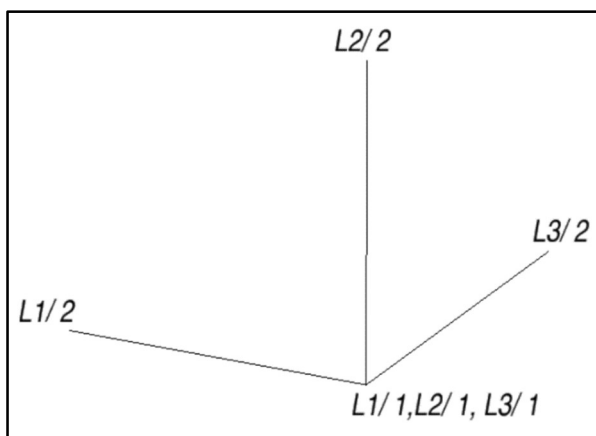
práve v prostredí Microstation V8i. Takto vytvorené body sú v zozname súradníc (príloha č. 6) číslované s predponou K101 až K265. Zároveň boli niektoré body zrušené, kvôli chybnému odrazu či nesprávnemu umiestneniu na objekte.



Obr. 20 – Predbežne importované podrobné body v prostredí Microstation V8i [autor]

8.2 Topologické kódovanie a import do QGIS

Po predbežnom vyhotovení drátového modelu sa mohlo pristúpiť k realizácii kódovania podrobných bodov v zozname súradníc. Princíp kódovania závisel od skriptu *topologie_3D.py* v programovacom jazyku Python, ktorý bol predaný vedúcim práce. Každému podrobnému bodu, ktorý bol súčasťou drátového modelu, bol priradený kód vo forme *LX/č.b.* (kde X označuje číslo jednej línie a č.b. číslo bodu na nej).



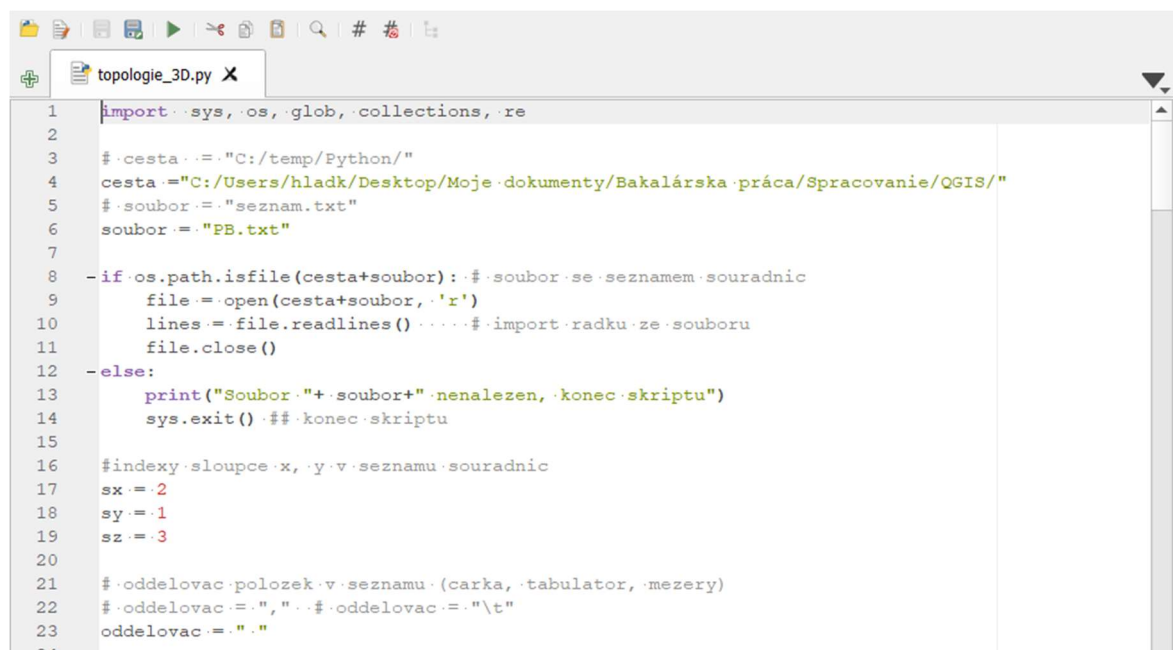
Obr. 21 – Princíp a spôsob kódovania pre tvorbu línií [autor]

1	601414.687	1163700.774	243.006 L1/1
2	601414.507	1163702.550	242.941 L1/2,L2/1
3	601414.507	1163702.548	243.071 L1/7,L2/2
4	601406.804	1163701.796	243.080 L1/6,L3/2
5	601406.804	1163701.794	242.930 L1/3,L3/1
6	601406.998	1163699.935	243.077 L1/5,L5/11
7	601406.998	1163699.936	243.027 L1/4
8	601407.349	1163699.965	243.079 L1/12

Obr. 22 – Súradnice podrobných bodov s priradenými kódmi v textovom súbore [autor]

Takýmto spôsobom boli postupne, s využitím predbežne vyhotoveného drátového modelu, priradené kódy všetkým podrobným bodom. Zoznam súradníc s topologickými kódmi bol uložený do textového súboru.

Ďalším krokom bol import týchto bodov do softwaru QGIS pomocou vyššie spomenutého skriptu v jazyku Python. Po spustení QGIS sa funkciou *Python Console* otvorila konzola, v ktorej bol cez možnosti *Show Editor* → *Open Script* otvorený skript *topologie_3D.py*. V ňom bola nastavená cesta do súboru so zoznamom kódovaných súradníc a boli skontrolované všetky parametre importu.



```

1 import sys, os, glob, collections, re
2
3 # cesta := "C:/temp/Python/"
4 cesta := "C:/Users/hladk/Desktop/Moje dokumenty/Bakalárska práca/Spracovanie/QGIS/"
5 # soubor := "seznam.txt"
6 soubor := "PB.txt"
7
8 -if os.path.isfile(cesta+soubor): # soubor se seznamem souradnic
9     file := open(cesta+soubor, 'r')
10     lines := file.readlines() ... # import radku ze souboru
11     file.close()
12 -else:
13     print("Soubor "+soubor+" nenalezen, konec skriptu")
14     sys.exit() ## konec skriptu
15
16 #indexy sloupce x, y v seznamu souradnic
17 sx := 2
18 sy := 1
19 sz := 3
20
21 #oddelovac polozek v seznamu (carka, tabulator, mezery)
22 #oddelovac := " " #oddelovac := "\t"
23 oddelovac := " "
24

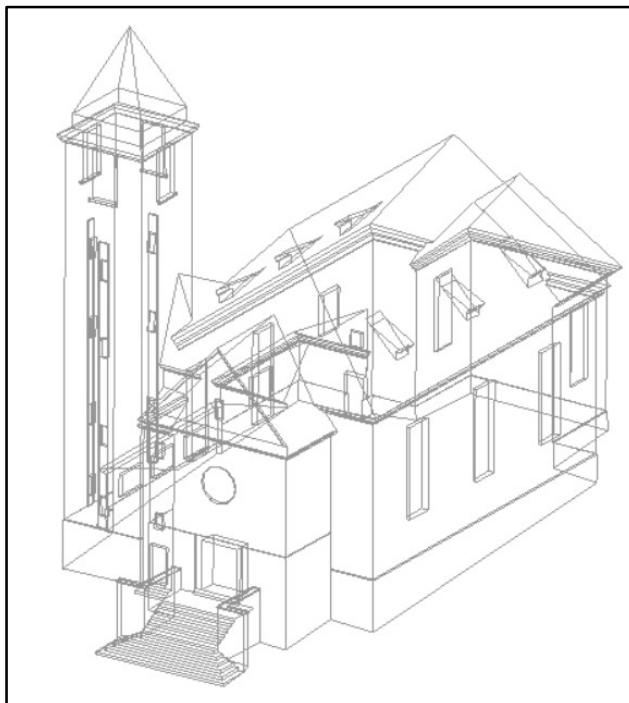
```

Obr. 23 – Skript v programovacím jazyku Python otvorený v konzole v prostredí softwaru QGIS [autor]

Nasledovalo samotné spustenie skriptu pomocou funkcie *Run Script*, vďaka čomu prebehlo vygenerovanie vektorovej kresby z kódovaných súradníc. Vzniknutý drátový model bolo ešte nutné vyexportovať, čoho sa dosiahlo prostredníctvom možnosti *Project* → *Import/Export* → *Export Project to DXF*. V nasledujúcom okne sa mohli zvoliť ďalšie možnosti, napr. mierka symbológie, súradnicový systém exportovaných dát a pod.

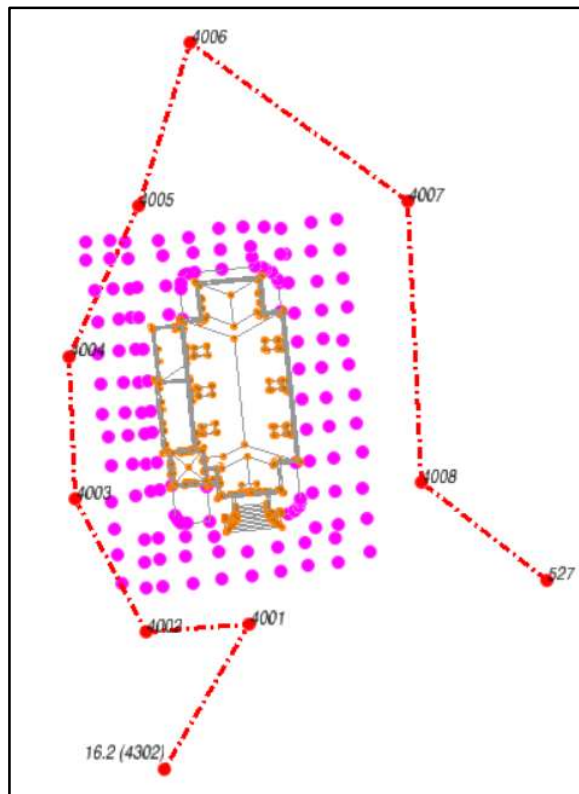
8.3 Úprava drátového modelu v Microstation V8i

Exportovaný súbor DXF bol otvorený v prostredí Microstation V8i, kde mal byť ešte ďalej upravovaný. Najskôr boli vymazané všetky nevhodne vygenerované línie, a na niektorých miestach bolo nutné línie dokresliť.

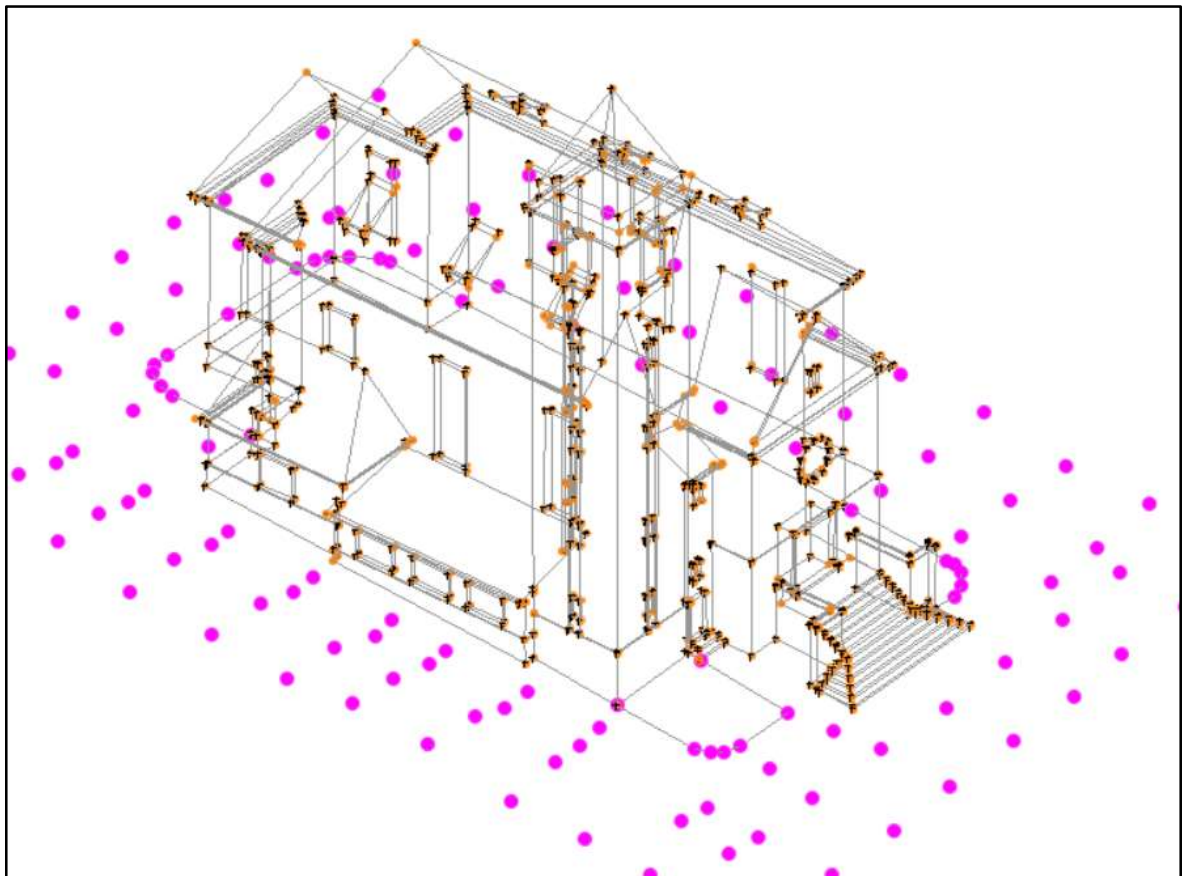


Obr. 24 – Upravený drátový model v prostredí softwaru Microstation V8i [autor]

Po upravení samotného modelu sa mohlo prejsť k ďalším krokom, ktoré viedli k finálnemu výstupu. Najprv boli do súboru dodatočne importované postupne súradnice podrobných bodov modelu, súradnice podrobných bodov polohopisu a terénu zameraného v okolí objektu a nakoniec súradnice bodov PMS, kvôli vykresleniu meračskej siete okolo drátového modelu. Importované podrobné body drátového modelu sú v súbore DGN uvedené aj s výškami.

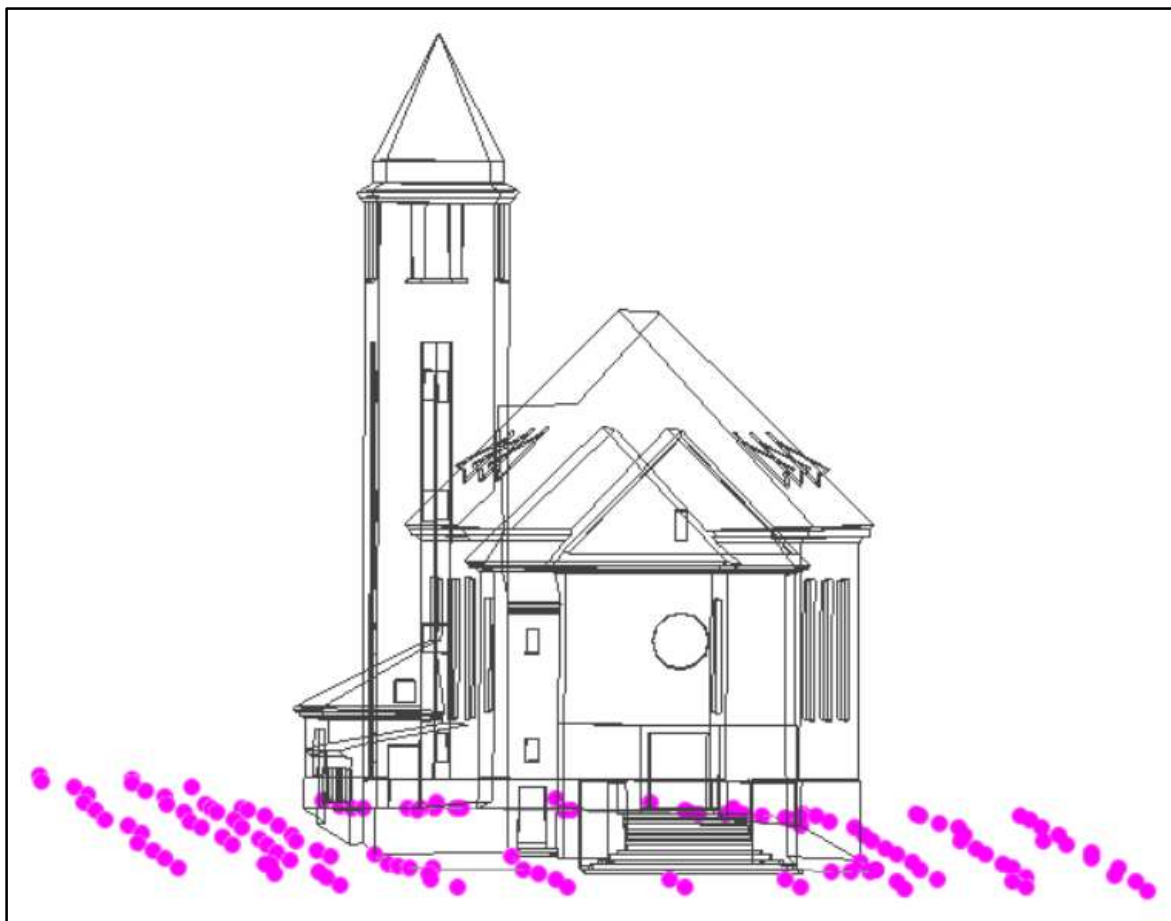


Obr. 25 – Finálny drátový model s vynesným terénom a pomocnou meračskou sieťou (pohľad zhora) [autor]

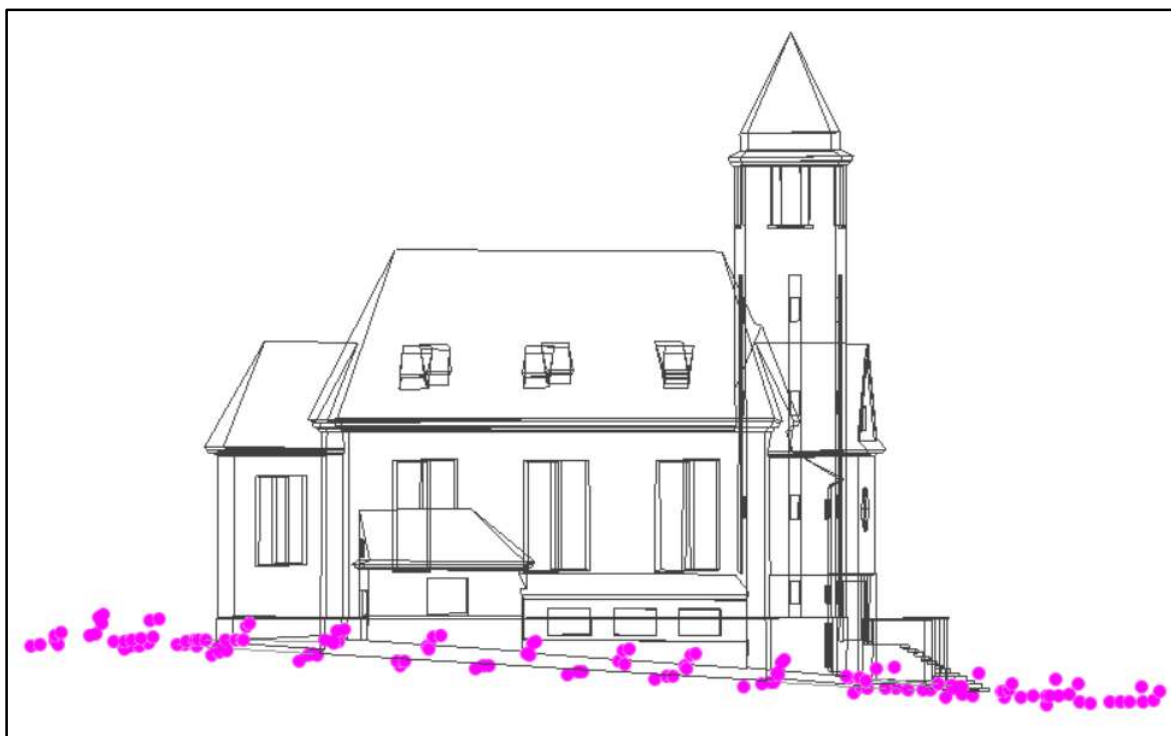


Obr. 26 – Finálny drátový model s vynesným terénom (izometrický pohľad) [autor]

Posledným krokom bolo rozdelenie vynesenej kresby do príslušných vrstiev, napr. podrobné body vyjadrujúce priebeh terénu v okolí kostola sú umiestnené vo vrstve *Terén* apod. Na záver tejto kapitoly sú priložené obrázky zobrazujúce izometrický pohľad na drátový model a pohľady z troch svetových strán (viď obr. 26, 27, 28 a 29).



Obr. 27 – Finálny drátový model s vynesným terénom (pohľad z juhu) [autor]



Obr. 28 – Finálny drátový model s vynesným terénom (pohľad od západu) [autor]



Obr. 29 – Finálny drátový model s vynesným terénom (pohľad od východu) [autor]

9. ZÁVER

Hlavnou úlohou tejto bakalárskej práce bolo vytvorenie drátového modelu vybraného objektu na podklade geodetického merania a s využitím topologického kódovania. Výstupom mal byť samotný drátový model, vhodne upravený vo vybranom CAD systéme.

V úvode práce sa najviac pozornosti venuje práve vybranému objektu, kostolu sv. Jana Nepomuckého v Starém Lískovci v Brne. Je tu opísaná jeho pomerne krátka história, jednoduchá architektúra a taktiež niekoľko zaujímavostí.

Ďalšia časť pojednáva o činnostiach spojených s terénnymi prácami, prípravou na meranie, rekognoskáciou okolia kostola, výberom vhodných polohových základov a meračských prístrojov. Potom mohlo prísť na rad budovanie pomocnej meračskej siete, a to najprv metódou GNSS, ktorá sa osvedčila kvôli hustejšiemu porastu okolo objektu ako nevhodná, a potom klasickou metódou pomocného polygónového ťahu. Takto určená meračská sieť nebola nakoniec výškovo overená, pretože najbližšie výškové body boli znehodnotené zateplením budov, prípadne sa ich stabilizácie na budovách už vôbec nenašli. Pred týmto určením pomocného bodového poľa už medzitým prebehlo podrobné meranie, takže po druhej etape merania sa mohlo pristúpiť priamo ku kancelárskym prácam.

Tie boli rozdelené do dvoch fáz, do výpočtovej fázy a do fázy spracovania grafického výstupu v podobe drátového modelu. V prvej fáze prebehol výpočet bodov pomocnej meračskej siete a podrobných bodov v software GROMA v. 12.2 a bola overená presnosť získaných súradníc polohovou a výškovou kontrolou. Následne mohla byť realizovaná tvorba modelu, a to najprv vytvorením zoznamu súradníc s topologickými kódmi. Tie boli v ďalšom kroku importované do prostredia softwaru QGIS 3.4.6, čím vznikol drátový model objektu. Ten bol následne exportovaný do Microstation V8i, kde bol dodatočne upravený do finálnej podoby.

Aj keď výstupom tejto práce je práve drátový model objektu, dá sa tvrdiť, že hlavným výsledkom je práve overenie efektivity zvolenej metódy tvorby modelu. Využitie topologických kódov funguje v mnohých softwaroch a zabezpečuje tak značné zvýšenie rýchlosti vyhodnotenia nameraných dát. V prípade jednoduchších objektov by bolo teoreticky možné s pomocou kódovania nahradiť tvorbu meračských náčrtov, čím by sa ušetril jednak čas nutný pre prípravu na meranie, tak aj čas venovaný samotnému meraniu.

Síce sa v súčasnosti hojne využíva na zameranie budov a iných objektov moderná metóda laserového skenovania, práve táto práca by mala byť dokladom toho, že klasické geodetické metódy sú stále efektívne použiteľné aj v sektore tvorby drátových a 3D modelov, a to práve vďaka topologickému kódovaniu.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY A ZDROJOV

- [1] *Brno-Starý Lískovec*. Wikipedia. [Online] 16. 04 2021. [cit. 25. 05 2021.] Dostupné z: www.wikipedia.org.
- [2] *Kostel sv. Jana Nepomuckého*. Internetová encyklopedie dějin Brna. [Online] 01. 02 2020. [cit. 25. 05 2021.] Dostupné z: www.encyklopedie.brna.cz.
- [3] FIŠER, Z., VONDRÁK, J. *Mapování II*. [pdf] Brno : VUT, 2005.
- [4] *Zákon č.200/1994 Sb. Zákony pro lidi*. [Online] 12. 03 2020. [cit. 25. 05 2021.] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1994-200>.
- [5] HANZL, V., *Fotogrammetrie*. [pdf] Brno : VUT, 2006.
- [6] *QGIS*. *Wikipedie*. [Online] 29. 01 2020. [Cit. 25. 05 2021.] Dostupné z: www.wikipedia.org.
- [7] *7. Vyhláška č. 357/2013 Sb. Zákony pro lidi*. [Online] 01. 01 2020. [Cit. 25. 05 2021.] Dostupné z: www.zakonyprolidi.cz.
- [8] *Trimble R8s Datasheet*. [Online] 22. 07 2016. [Cit. 25. 05 2021.] Dostupné z: www.tec.earth.sinica.edu.tw.
- [9] *Totální stanice Trimble M3*. [Online] 27. 08 2015. [Cit. 25. 05 2021.] Dostupné z: www.deltag.cz.
- [10] ŠTRONER, M., . *Globální navigační satelitní systémy (GNSS)*. [Online] 19. 12 2016. [Cit. 25. 05 2021.] Dostupné z: k154.fsv.cvut.cz.
- [11] *GROMA*. [Online] 05. 05 2021. [Cit. 25. 05 2021.] Dostupné z: www.groma.cz.
- [12] *Microstation*. [Online] 17. 12 2018. [Cit. 25. 05 2021.] Dostupné z: www.wikipedia.org.
- [13] FIŠER, Z., VONDRÁK, J. *Mapování I*. [pdf] Brno : VUT, 2005.
- [14] BARTONĚK, D., BERKOVÁ, A. *Microstation - Modul I*. [pdf] Brno : VUT, 2004.
- [15] *Jihomoravský kraj na mapě*. [Online] 04. 03 2011. [Cit. 25. 05 2021.] Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Jihomoravsk%C3%BD_kraj#/media/Soubor:Jihomoravsk%C3%BD_kraj_in_Czech_Republic.svg.
- [16] *Brno-Starý Lískovec na mapě*. [Online] 29. 06 2012. [Cit. 25. 05 2021.] Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Brno-Star%C3%BD_L%C3%ADskovec#/media/Soubor:Brno_M%C4%8C_Brno-Star%C3%BD_L%C3%ADskovec.png.
- [17] *Geoprohlížeč*. [Online] ČÚŽK. [Cit. 25. 05 2021.] Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/>.

- [18] *Mapy Wikimedia*. [Online] [Cit. 25. 05 2021.] Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Kostel_svat%C3%A9ho_Jana_Nepomuck%C3%A9ho_\(Brno\)#/map/0](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kostel_svat%C3%A9ho_Jana_Nepomuck%C3%A9ho_(Brno)#/map/0).
- [19] *Trimble R8s*. [Online] [Cit. 25. 05 2021.] Dostupné z: <https://geotronics.cz/geodezie/gnss/trimble-r8s/>.
- [20] *Trimble M3 Total Station*. [Online] [Cit. 25. 05 2021.] Dostupné z: <https://www.adverts.ie/other-building-materials/sale-used-original-trimble-m3-total-station-with-best-total-station-price/11151464>.
- [21] *Schéma nitkové tachymetrie*. [Online] 05. 11 2005. [Cit. 25. 05 2021.] Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Tachymetrie#/media/Soubor:L-Tachymetrie.png>.
- [22] *Virtual planning*. [Online] 30. 06 2017. [Cit. 25. 05 2021.] Dostupné z: <https://www.festo.com/group/en/repo/assets/07439-3d-laserscanner-1532x900px.jpg>.
- [23] *Measured Building and Laser Scanning*. [Online] [Cit. 25. 05 2021.] Dostupné z: https://www.frankham.com/wp-content/uploads/2013/01/Measured-Surveying_1000x420_a.jpg.

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
Bpv	Výškový systém Balt po vyrovnání
ZBPB	Základní polohové bodové pole
AGS	Astronomicko-geodetické sítě
ČSTS	Česká státní trigonometrická síť
ZhB	Zhušťovací body
PPBP	Podrobné polohové bodové pole
ČSNS	Česká státní nivelační síť
LIDAR	Light Detection And Ranging
PMS	Pomocná meračská sieť
GNSS	Globálne navigačné satelitné systémy
VUT	Vysoké učení technické
RTK	Kinematické určovanie polohy v reálnom čase, z angl. Real Time Kinematic
CAD	Počítačom podporované projektovanie, z angl. Computer Aided Design
GIS	Geografické informačné systémy
GPS	Globálny polohový systém, z angl. Global Positioning System
ČSFR	Česká a Slovenská Federatívna Republika
3D	Trojrozmerný, trojdimenzionálny
USB	Univerzálna sériová zbernica, z angl. Universal Serial Bus
PC	Osobný počítač, z angl. Personal Computer
ČSN	Česká technická norma

ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK

ZOZNAM OBRÁZKOV

- Obr. 1 Kostol sv. Jana Nepomuckého v Starém Lískovci, Brno (str. 10)
- Obr. 2 Lokalizácia mestskej časti Starý Lískovec v okrese Brno-město (str. 12)
- Obr. 3 Lokalizácia kostola sv. Jana Nepomuckého v mestskej časti Starý Lískovec (str. 13)
- Obr. 4 Kostol sv. Jana Nepomuckého na snímku z 30. rokov 20. storočia (str. 14)
- Obr. 5 Schéma nitkovej tachymetrie (str. 18)
- Obr. 6 Pozemný laserový skener Faro (str. 19)
- Obr. 7 Point cloud, tzv. mračno bodov (str. 19)
- Obr. 8 GNSS aparátúra Trimble R8s (str. 21)
- Obr. 9 Totálna stanica Trimble M3 DR 2“ (str. 21)
- Obr. 10 Stabilizácia meračským klincom (str. 22)
- Obr. 11 Stabilizácia dreveným kolíkom (str. 22)
- Obr. 12 Polohové a výškové základy v okolí kostola sv. Jana Nepomuckého (str. 23)
- Obr. 13 Pomocná meračská sieť ako súčasť drátového modelu (str. 24)
- Obr. 14 Meračský náčrt (detail); spôsob rozlíšenia identických (červená) a podrobných bodov (čierna) (str. 25)
- Obr. 15 Výpočet mierkového koeficientu v software GROMA (str. 29)
- Obr. 16 Nastavenie parametrov importovaného zápisníku v software GROMA (str. 29)
- Obr. 17 Zoznam súradníc bodového poľa (vľavo), príprava na výpočet polygónového ťahu (uprostred), príprava na výpočet polárnej metódy dávkou (vpravo) v prostredí softwaru GROMA (str. 30)
- Obr. 18 Funkcia výpočet polárnej metódy dávkou v programe GROMA (str. 31)
- Obr. 19 Výpočet polárnej metódy dávkou v prostredí softwaru GROMA (str. 31)
- Obr. 20 Predbežne importované podrobné body v prostredí Microstation V8i (str. 35)
- Obr. 21 Princíp a spôsob kódovania pre tvorbu línii (str. 35)
- Obr. 22 Súradnice podrobných bodov s priradenými kódmi v textovom súbore (str. 36)
- Obr. 23 Skript v programovacom jazyku Python otvorený v konzole v prostredí softwaru QGIS (str. 36)
- Obr. 24 Upravený drátový model v prostredí softwaru Microstation V8i (str. 37)

Obr. 25	Finálny drátový model s vynesným terénom a pomocnou meračskou sieťou (pohľad zhora) (str. 38)
Obr. 26	Finálny drátový model s vynesným terénom (izometrický pohľad) (str. 38)
Obr. 27	Finálny drátový model s vynesným terénom (pohľad z juhu) (str. 39)
Obr. 28	Finálny drátový model s vynesným terénom (pohľad od západu) (str. 40)
Obr. 29	Finálny drátový model s vynesným terénom (pohľad od východu) (str. 40)

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1	Zoznam použitých bodov ZPBP a PPBP (str. 17)
Tab. 2	Technické parametre použitej GNSS aparatury Trimble R8s (str. 21)
Tab. 3	Technické parametre totálnej stanice Trimble M3 DR 2“ (str. 22)
Tab. 4	Zoznam súradníc bodov PMS a ich stabilizácií (str. 24)
Tab. 5	Triedy presnosti a im odpovedajúce kritériá podľa ČSN 01 3410 (str. 32)
Tab. 6	Výsledky polohovej kontroly zameraných identických bodov (str. 33)
Tab. 7	Výsledky výškovej kontroly zameraných identických bodov (str. 34)

ZOZNAM PRÍLOH

VIAZANÉ PRÍLOHY

- Príloha č. 1 Geodetické údaje (3xA4)
- Príloha č. 2 Zápisníky (25xA4)
- Príloha č. 3 Schéma pomocnej meračskej siete (1xA3)
- Príloha č. 4 Meračské náčrty (7xA4)
- Príloha č. 5 Protokoly (100xA4)
- Príloha č. 6 Zoznamy bodov (20xA4)
- Príloha č. 7 Testovanie presnosti (6xA4)

ELEKTRONICKÉ PRÍLOHY

- Príloha č. 1 Geodetické údaje
- Príloha č. 2 Zápisníky
- Príloha č. 3 Schéma pomocnej meračskej siete
- Príloha č. 4 Meračské náčrty
- Príloha č. 5 Protokoly
- Príloha č. 6 Zoznamy bodov
- Príloha č. 7 Testovanie presnosti
- Príloha č. 8 Drátový model
- Príloha č. 9 Skript v programovacom jazyku Python